



The conversion of biomass into energy in farm biogas plant

Maria ŻYGADŁO¹, Robert MADEJSKI¹

¹Politechnika Świętokrzyska, Al.1000-lecia P.P. 7, 25-314 Kielce, tel. 41 3424527, e-mail: zygadlo@tu.kielce.pl

¹Politechnika Świętokrzyska, Al.1000-lecia P.P. 7, 25-314 Kielce; e-mail: robertmadejski89@gmail.com

Abstract

According to the national action plan for energy from renewable sources, the share of RES in the gross final energy consumption will reach 15% by 2020. This will have a significant impact on changing the structure of fuel consumption. Biomass has the biggest share of renewable energy sources and accounts for more than 2/3 of all RES. This is mainly due to the availability of substrates for energy production and the relatively low capital expenditure compared to the necessary inputs to enable the recovery of energy from other renewable sources. The production and use of energy from agricultural sources is the solution to many ecological problems and entails significant economic and social benefits at a local level as well as nationally. In terms of social development of the biogas industry, it is an opportunity for creating additional jobs in the countryside, activating of rural areas, increasing the revenue from local taxes, as well as increasing the investment attractiveness of the region. The biogas production can meet the benchmarks of climate and energy protection and reduce emissions of methane and other greenhouse gases.

Keywords: renewable energy, agricultural biogas plants, conditions for methane fermentation

Streszczenie

Konwersja biomasy w energię w biogazowni rolniczej

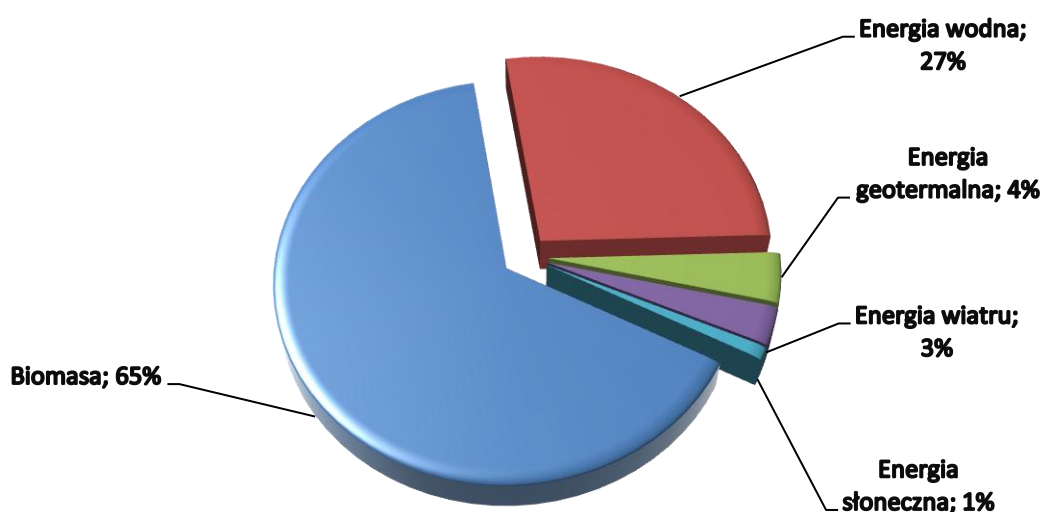
Zgodnie z krajowym planem działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych udział w końcowym zużyciu energii brutto do roku 2020 osiągnie 15%. Wpłynie to istotnie na zmianę struktury zużycia paliw. Największy udział w odnawialnych źródłach energii ma biomasa, która stanowi ponad 2/3 wszystkich OZE. Wynika to głównie z dostępności substratów do produkcji energii oraz stosunkowo niskich nakładów inwestycyjnych w porównaniu do niezbędnych nakładów umożliwiających odzysk energii z innych źródeł odnawialnych. Produkcja i wykorzystanie energii pochodzenia rolniczego niesie ze sobą znaczne korzyści ekonomiczne, energetyczne oraz społeczne na szczeblu lokalnym, jak również krajowym. W aspekcie społecznym rozwój branży biogazowej to szansa na dodatkowe miejsca pracy na wsi, aktywizację terenów wiejskich, wzrost przychodów z tytułu podatków lokalnych, jak również zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej regionu. Produkcja biogazu pozwala zrealizować założenia klimatyczno-energetyczne, zmniejszyć emisję metanu i innych gazów cieplarnianych.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, biogazownie rolnicze, warunki fermentacji metanowej

1. Wstęp

Wraz ze światowym rozwojem gospodarczym, obserwowany jest systematyczny wzrost popytu na energię. Szacuje się, że w Unii Europejskiej do 2030 r. łączne zużycie energii wzrośnie o 25% i w przypadku braku istotnej dywersyfikacji źródeł wskaźnik importu energii z obecnego poziomu 50% zwiększy się do 70% [1]. Nieodnawialne zasoby – głównie w postaci paliw kopalnych, tj. węgiel, ropa naftowa – z każdym rokiem ulegają zmniejszeniu, co wymusza konieczność korzystania ze źródeł odnawialnych. Energia niekonwencjonalna na obecnym poziomie rozwoju jest w stanie jedynie wspomagać tradycyjne źródła energii będąc komplementarnym uzupełnieniem [2], [3], [4]. Strukturę zużycia energii ze źródeł niekonwencjonalnych prezentuje rysunek 1.1.

Polityka energetyczna Unii Europejskiej od wielu lat uznaje jako priorytet zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym[5]. W 2008 roku Parlament Europejski opracował dokument, który w całości poświęcony jest biogazowi, podkreślając, że „*produkcja biogazu w oparciu o nawóz zwierzęcy, osady i odpady zwierzęce i organiczne powinna być traktowana priorytetowo, ponieważ wynikające z tych metod korzyści dla zrównoważonego rozwoju i środowiska są niewątpliwe*” [6]. Ponadto w grudniu 2008 roku został przyjęty przez UE pakiet klimatyczno-energetyczny obejmujący szereg aktów prawnych, które w założeniu mają na celu realizację polityki europejskiej w zakresie ochrony klimatu. Unia zakłada ciągłą minimalizację emisji gazów cieplarnianych, sprzyjanie poprawie efektywności energetycznej, rozwój infrastruktury sieciowej [7], oraz promowanie wykorzystania OZE. Polityka ta wynika z realizacji zobowiązań podjętych w ramach Ramowej Konwencji ONZ w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) z 1992 r. oraz jest zgodna z Protokołem z Kioto z 1997 r. Główne postanowienia pakietu stanowią narzędzia prawne, sformułowane w postaci tzw. „Pakietu 3x20%” [8] Pakiet zakłada do 2020 r. redukcję emisji gazów cieplarnianych o 20% przy jednoczesnym wzroście efektywności energetycznej o 20% oraz przy udziale odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnej produkcji energii na poziomie 20%

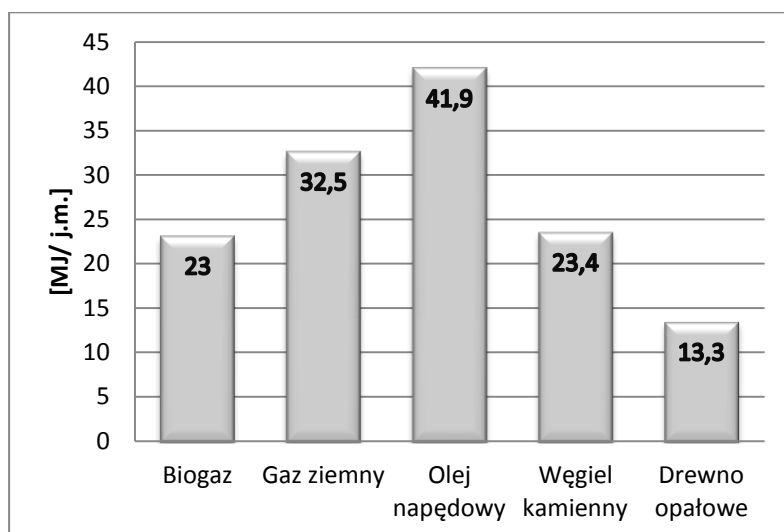


Rys.1.1 Wykorzystanie OZE w UE (opracowanie własne, na podstawie[1])

Komitet Unii Europejskiej przedstawił główny akt prawny dotyczący OZE, dyrektywę „w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych” [9]. Jest to dokument wiążący państwa członkowskie; zakłada on popularyzację niekonwencjonalnych źródeł w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto. W przypadku braku realizacji określonych postanowień, na poszczególne państwa zostaną nałożone sankcje.

W 2015r. ukazała się od dawna oczekiwana „Ustawa o odnawialnych źródłach energii” [10]. Ustawa określa, m.in. zasady i warunki działalności w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, biogazu rolniczego oraz mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, w tym z biogazu rolniczego.

Pozyskiwanie biogazu rolniczego wpisuje się w ideę rozwoju OZE w naszym kraju. „Polityka Energetyczna Polski” [8] jest uznawana jako dokument o charakterze strategicznym dla rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce. W części dotyczącej OZE wskazuje na potrzebę wsparcia instalacji wykorzystujących odpady ulegające biodegradacji i biomasę roślinną. Przewaga biogazowni na tle innych źródeł polega na tym, że oprócz niskiej emisji i wysokiej efektywności energetycznej ten rodzaj odzysku wiąże się z utylizacją odpadów pochodzenia rolniczego. Biogaz rolniczy posiada wartość opałową na poziomie gazu ziemnego (rys. 1.2)



Rys.1.2. Wartość opałowa paliw (opracowanie własne, na podstawie [1])

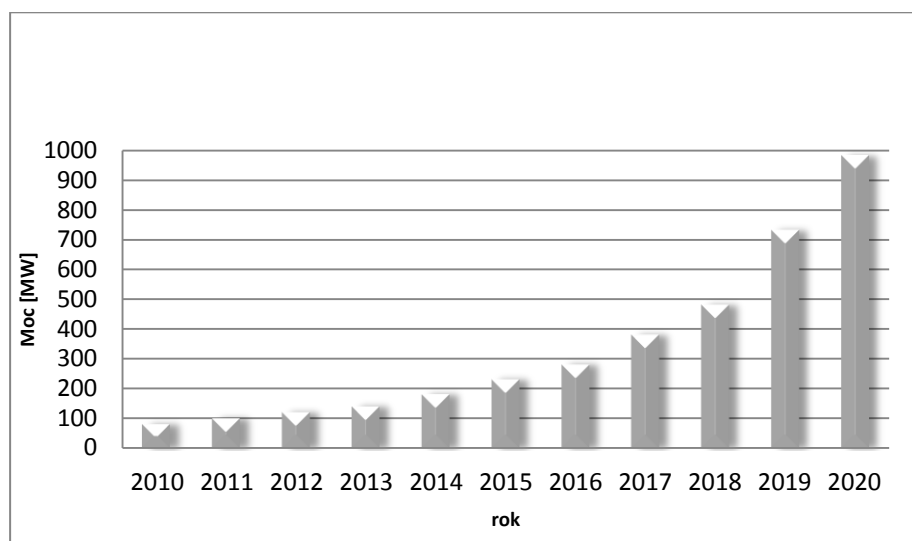
Oszacowany potencjał surowcowy do produkcji biogazu, w produktach ubocznych z rolnictwa i przemysłu rolno – spożywczego, wynosi około 1,7 mld m³ biogazu rocznie. W Polsce zużywa się rocznie około 14 mld m³ gazu ziemnego, w tym odbiorcy indywidualni z terenów wiejskich wykorzystują około 500 mln m³ gazu. Według opracowań eksperckich szacowana ilość biogazu po oczyszczeniu mogłaby pokryć około 10% zapotrzebowania kraju na gaz lub w całości zaspokoić potrzeby odbiorców z terenów wiejskich oraz dostarczyć dodatkowo 125 tys. MWh_e (energii elektrycznej) i 200 tys. MWh_c (energii ciepłej) [11].

2. Rozwój biogazowni rolniczych w Polsce

W roku 2010 Ministerstwo Gospodarki przedstawiło projekt dotyczący tzw. „Krajowego Planu Działań...” [12] będący jednocześnie rządowym planem wdrożenia dyrektywy 2009/28/WE w zakresie promocji stosowania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. W planie zostały określone udziały poszczególnych technologii służących osiągnięciu założonego celu w 2020 roku. Przyjęto, iż biogazownie (w tym: instalacje na oczyszczalniach ścieków, składowiskach odpadów i biogazownie rolnicze) osiągną w 2020 zainstalowaną moc równą 980 MW i produkcję 4 018 GWh energii elektrycznej (rys. 2.1.). Należy zwrócić uwagę na aspekt społeczny rozwoju biogazowni na szczeblu lokalnym, jak również krajowym. W aspekcie społecznym rozwój branży biogazowej to szansa na dodatkowe miejsca pracy na wsi [13],

Podstawą prawną dotyczącą obrotu energią ze źródeł odnawialnych w Polsce jest ustawa „*Prawo energetyczne...*” [14] oraz pochodne akty wykonawcze.

Zgodnie z przepisami ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne ze zmianami [14] działalność gospodarcza w zakresie wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej z biogazu rolniczego jest od 1 stycznia 2011 r. działalnością regulowaną i wymaga wpisu do rejestru przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego. Organem odpowiedzialnym za prowadzenie powyższego rejestru jest Prezes Agencji Rynku Rolnego. Wg rejestru w stanie aktualnym pozyskuje się w biogazowniach około 350 mln m³ biogazu w skali roku, co odpowiada łącznej mocy zainstalowanej energii elektrycznej ponad 91 MWe [15].



Rys.2.1. Prognozowany przyrost mocy w biogazowniach rolniczych wg. KPD (Krajowego Planu Działania); opracowanie własne na podstawie [12]

Biorąc pod uwagę, że w stanie aktualnym (30.03.2016) w rejestrze Agencji Rynku Rolnego [15] znajduje się 76 biogazowni, a około 130 jest w fazie planowania gwarantuje to w najbliższym czasie wydatny wzrost udziału biogazu rolniczego w rynku OZE.

Produkcja i wykorzystanie energii pochodzenia rolniczego jest zdecydowanie rozwiązaniem proekologicznym (utylicacja odpadów) i wnosi znaczne korzyści ekonomiczne, energetyczne oraz społeczne na szczeblu lokalnym, jak również krajowym [16]. W aspekcie społecznym rozwój branży biogazowej to szansa na dodatkowe miejsca pracy na wsi, aktywizację terenów wiejskich, wzrost przychodów z tytułu podatków lokalnych, jak również zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej regionu. Produkcja biogazu pozwala zrealizować założenia klimatyczno-energetyczne, zmniejszyć emisję metanu i innych gazów cieplarnianych, oraz osiągnąć większą dywersyfikację źródeł energii.

Pod względem ekonomicznym dla potencjalnych deweloperów zarządzanie biogazownią wiąże się z przychodami wynikającymi z [17]:

- sprzedaży energii elektrycznej,
- świadectw pochodzenia,
- nadwyżki ciepła procesowego,
- pulpy pofermentacyjnej w formie nawozu,
- pobierania opłaty tytułu przyjęcia odpadów do utylizacji.

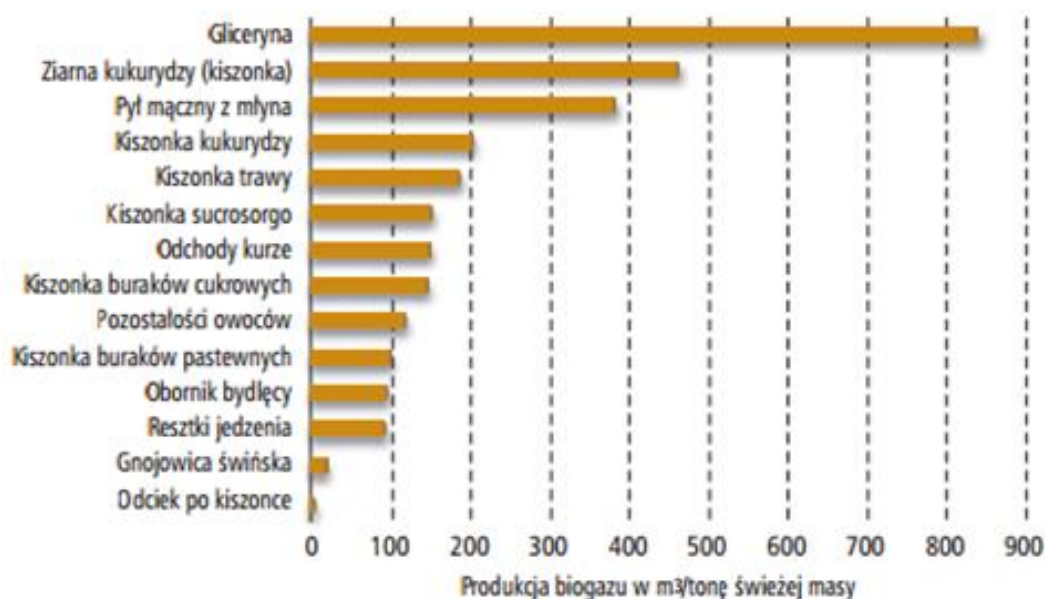
W celu gwarancji opłacalności zakłada się, iż operatorzy biogazowni powinni wykazać zapotrzebowanie na ciepło, które można spożytkować jako naddatek z produkcji energii elektrycznej. Powinni również mieć zapewniony dostęp do pól uprawnych wymagających nawożenia. Zatem w bilansie ekonomicznym można uwzględnić następujące korzyści z tytułu:

- eliminacji wydatków przeznaczonych na paliwa pierwotne służących do produkcji ciepła;
- eliminacji wydatków przeznaczonych na zakup nawozów mineralnych.

Ponadto należy zwrócić uwagę na zyski pośrednio przekładające się na ekonomiczne korzyści, takie jak: zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej regionu, zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii i paliw, promocja firmy uznanej za przyjazną środowisku [18]. Największe zyski dla biogazowni generuje produkcja i sprzedaż energii elektrycznej.

3.Odzysk biogazu w biogazowni rolniczej

Komponowanie mieszaniny fermentacyjnej wymaga szczegółowej wiedzy o każdym substracie i interakcjach zachodzących pomiędzy nimi [19], [20]. Oszacowanie wydajności metanu polega na kalkulacjach parametrów dobranych racjonalnie biorąc pod uwagę prawidłowe obciążenie ładunkiem materii organicznej po zbilansowaniu chemicznych parametrów procesu, które mogą zmieniać się w każdej kolejnej porcji substratu zasilającej fermentor[21]. Skład surowcowy wsadu do biogazowni determinuje także parametry technologiczne w instalacji. Do obliczenia produktywności wsadu wykorzystuje się publikowane wskaźniki produktywności biogazu dla poszczególnych komponentów masy substratów (rys.3.1). Na podstawie obliczonej wydajności biogazu dokonuje się oszacowania produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. On-line dostępne są kalkulatory biogazowe, które stanowią pomocne narzędzie wykorzystywane do szacowania wydajności energetycznej biogazowni na podstawie wsadu surowcowego. Kalkulatory pozwalają również oszacować wskaźniki ekonomiczne instalacji, co jest bardzo przydatne na etapie projektowania instalacji.



Rys. 3.1. Produktywność biogazu dla różnych substratów [17]

Instalacje fermentacji metanowej w biogazowniach rolniczych są zróżnicowane konstrukcyjnie, co wynika z dostosowania do potrzeb technologii. Instalacje mają indywidualnie dobraną metodę obróbki substratu, a jej dobór uwarunkowany jest rodzajem, ilością i jakością substratu.

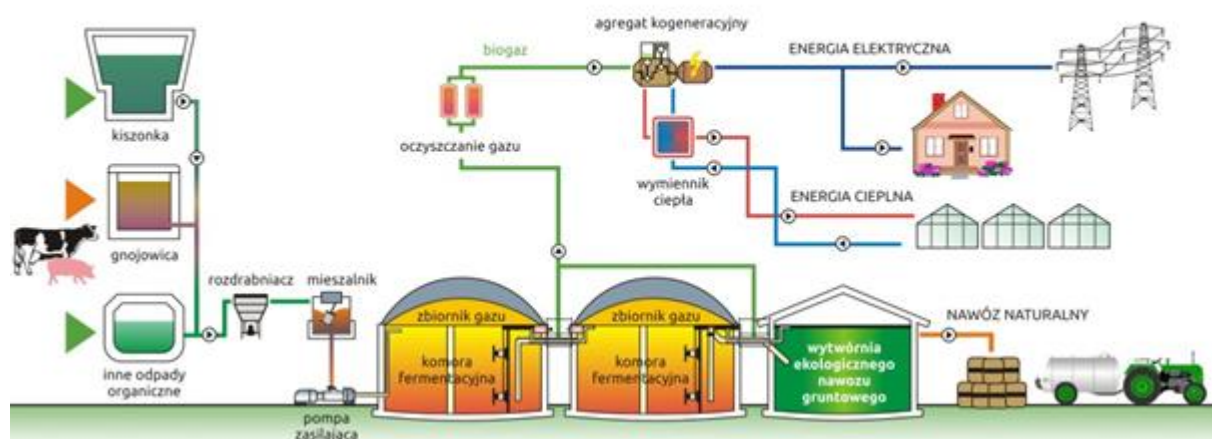
Określenie wielkości produkcji biogazu, objętości zbiorników, wielkości urządzeń i instalacji oraz mocy agregatów do produkcji energii elektrycznej i ciepła odbywa się na etapie planowania i projektowania, po określeniu dostępności substratów dla instalacji. Na rysunku 3.2 zilustrowano schemat technologiczny biogazowni rolniczej pracującej na trzech rodzajach substratów: kiszonce roślinnej, gnojowicy oraz innych odpadach organicznych.

Logistyka postępowania w procesie jest powtarzalna dla instalacji produkujących biogaz. Na początku obejmuje przede wszystkim dostawę substratów w odpowiedniej ilości oraz jakości, a następnie ich zmagazynowanie w celu dostarczenia do komory fermentacyjnej. W praktyce stwarza to warunki lokalizacji biogazowni w pobliżu dużych hodowli zwierząt i gospodarstw rolnych o dużym areale upraw. Każda instalacja wymaga wyposażenia w specjalne zbiorniki magazynujące substraty.

Podstawą osiągnięcia satysfakcjonujących efektów jest uzyskanie ujednorodnionej masy substratów, które po obróbce wstępnej kierowane są do komory fermentacyjnej. W komorze - w wyniku procesów beztlenowych - z materii organicznej uwalnia się biogaz. Biogaz powinien być odpowiednio uzdatniony i skierowany do zespołów kogeneracyjnych, w których wytwarzana jest energia elektryczna i ciepła. Biogaz może również zostać wtłoczony do sieci gazowej, wymaga to jednak wyspecjalizowanych procesów uzdatnienia do poziomu jakości gazu ziemnego o wysokim poziomie metanu. Istnieje również możliwość wykorzystania biogazu do zasilania pojazdów mechanicznych. Powstający w zespołach kogeneracyjnych prąd jest zwykle częściowo

spożytkowany na potrzeby własne, natomiast nadmiar jest przesyłany do sieci energetycznej. Powstające w procesie ciepło, może być wykorzystane do ogrzania fermentora, a także gospodarstwa rolnego. Istnieje również możliwość sprzedaży ciepła do odbiorców indywidualnych, wymaga to stworzenia dodatkowo sieci ciepłowniczej.

Poddana stabilizacji pulpa pofermentacyjna jest na ogół dobrej jakości nawozem rolniczym, którego parametry są regulowane przez „Ustawę o nawozach...”[22]. Może również zostać sprzedana do odbiorców lub wykorzystana do nawożenia własnego areału upraw.

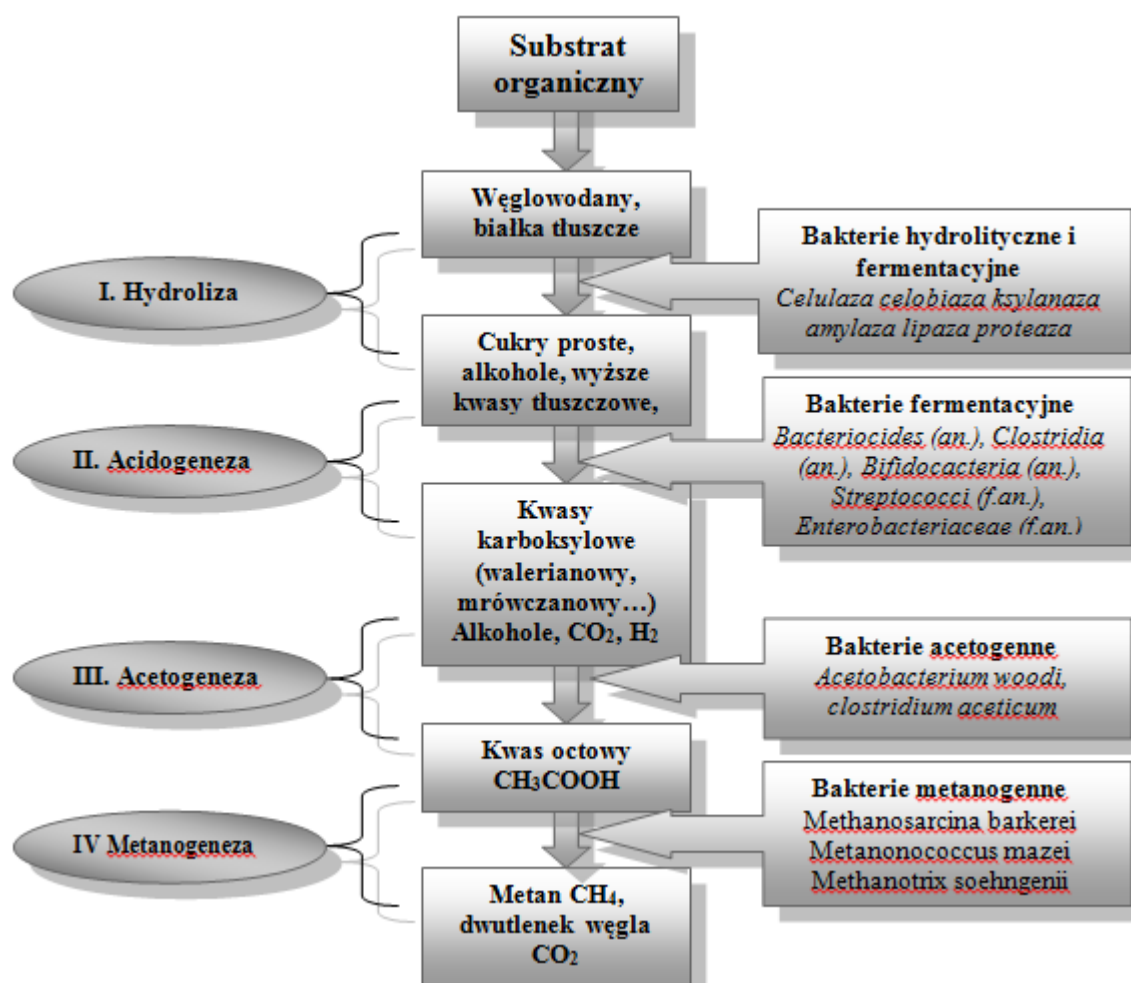


Rys. 3.2. Przykładowy schemat technologiczny biogazowni [23]

3.1. Charakterystyka procesu fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa definiowana jest jako zespół beztlenowych procesów biochemicznych, w których wielkocząsteczkowe substancje organiczne (głównie węglowodany, białka i tłuszcze oraz ich związki pochodne) są rozkładane do alkoholi lub niższych kwasów organicznych oraz metanu, ditlenku węgla i wody. Proces fermentacji metanowej zachodzi w czterech fazach, przy udziale organizmów, wymagających zróżnicowanych warunków środowiska reakcji. W procesie metanogenezy powstaje metan i dwutlenek węgla. Schemat przebiegu procesu przedstawiony został na rysunku 3.3.

W przypadku prostych rozwiązań technologicznych wszystkie cztery fazy zachodzą równocześnie w objętości jednego fermentora. W układach dwustopniowych rozdziela się fazę hydrolizy, fermentacji kwaśnej od fazy metanogenezy, aby w większym stopniu dostosować wymagania środowiskowe w fermentorze metanizacji do potrzeb mikroorganizmów dominujących w każdej z faz. Zwłaszcza mikroorganizmy metanogenne charakteryzują się wysoką wrażliwością na środowisko reakcji. Stabilność przebiegu procesu uzależniona jest od prawidłowego przepływu materii oraz warunków w poszczególnych mikro-środowiskach. Ilość i skład chemiczny wydzielonego biogazu zależy od składu chemicznego fermentowanych związków.



Rys. 3.3. Schemat procesu fermentacji metanowej (opracowanie własne, na podstawie [24])

W zależności od składu chemicznego fermentowanego substratu w biogazie mogą występować różne substancje w ilościach nawet niewielkich, które jednak mają istotny wpływ na właściwości biogazu i determinują jego oczyszczanie. W biogazie wykryto kilkaset różnych związków występujących w ilościach śladowych, które mają znaczenie ze względu na sposób wykorzystania biogazu. Typowy skład biogazu przedstawia tabela 3.1. Pozostałe stałe produkty organiczne po fermentacji poddawane są dalszej obróbce tlenowej w celu pozyskania kompostu.

Tabela 3.1. Składniki biogazu

Składnik	Zawartość
Metan (CH ₄)	50- 75 %
Dwutlenek węgla (CO ₂)	25- 45%
Siarkowodór (H ₂ S)	20- 20 000 ppm
Wodór (H ₂)	< 1 %
Tlenekwęgla (CO)	0- 2,1%
Azot (N ₂)	< 2 %
Tlen (O ₂)	< 2 %
inne	Śladowe ilości

Źródło: opracowanie własne, na podstawie [25].

3.2. Warunki środowiska reakcji fermentacji metanowej

Czynniki charakteryzujące środowisko reakcji fermentacji metanowej - warunki środowiskowe oraz parametry procesowe decydują o wydajności biogazu. Wartości poszczególnych parametrów powinny zapewniać mikroorganizmom warunki sprzyjające ich odżywianiu i namnażaniu [21]. Poniżej omówiono najbardziej istotne parametry procesu fermentacji.

Temperatura; najczęściej spotyka się fermentację mezofilową lub mieszaną mezo- i termofilową. Psychrofilne instalacje, ze względu na niską wydajność, są nieopłacalne.

Odczyn pH- parametr samoistnie ustalający się ze względu na równowagę zasadowych i kwaśnych produktów beztlenowych, wpływa na pracę poszczególnych grup bakterii [21]:

- bakterie acidofilne: optymalne pH = 4,5÷6,3, produkty ich aktywności zakwaszają środowisko;
- bakterie neutrofilne: optymalne pH = 6,8÷7,5, ze względu na ich niską odporność na spadek wartości pH, odczyn masy powinien być utrzymywany w równowadze;

Składniki pokarmowe- czynniki wpływające bezpośrednio na efektywność pracy bakterii. W hodowli należy zadbać o jakość dostarczanego substratu, aby zapewnić wystarczającą ilość białek, tłuszczów, węglowodanów oraz mikroelementów niezbędnych do prawidłowego odżywiania się bakterii i utrzymania ich rozwoju.

Obciążenie suchą masą - przyjęto następujące kryteria podziału technologii [26]:

- fermentacja mokra, wymaga dostarczenia mieszaniny fermentacyjnej o zawartości suchej masy w granicach: 8÷15%;
- fermentacja sucha, wymaga dostarczenia mieszaniny fermentacyjnej o zawartości suchej masy w granicach: 16÷40%.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż przeciążenie instalacji fermentacji zbyt dużą ilością masy suchej pogarsza właściwości reologiczne mieszaniny i zakłóca przebieg procesu.

Obciążenie objętościowe B_R - jest to dopuszczalna zawartość masy suchej w mieszaninie substratów przepływającej przez 1m^3 zbiornika fermentacyjnego w jednostce czasu (dni). Inaczej mówiąc, jest to dzienna porcja masy organicznej przypadająca na 1m^3 czynnej objętości komory (V_R) [27]:

$$B_R = \frac{mxc}{V_R} = \left[\frac{\text{kg.s.m.o}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}} \right] \quad (3.1)$$

V_R – objętość komory fermentacyjnej [m^3],

m – ilość wsadu [kg/doba],

c – zawartość substancji organicznej we wsadzie [%],

s.m.o. – zawartość suchej masy organicznej [$\text{t s.m.o.}/\text{t s.m.}$]

Inhibitory – to czynniki środowiskowe mikroorganizmów powodujące zahamowanie produkcji gazu. Dotyczy to zwłaszcza antybiotyków, środków dezynfekujących i chwastobójczych, rozpuszczalników, soli oraz metali ciężkich, których niewielka ilość wystarczy by zahamować proces fermentacji. Inhibitory mogą pochodzić z substratów, ale także mogą być produktami pośrednimi przemian fermentacyjnych substratów. Ze względu na zdolność bakterii do uodparniania się w pewnym stopniu na szkodliwe czynniki, trudno jednoznacznie określić niebezpieczne dla mikroorganizmów stężenie [24]. W tabeli 3.2 wyszczególniono najczęściej występujące inhibitory oraz graniczne wartości ich stężeń.

Tabela 3.2. Inhibitory procesu fermentacji

Inhibitor	Stężenie graniczne
sód	między 6 a 30 g/dm ³ (w przystosowanych kulturach do 60 g/dm ³)
potas	od 3 g/dm ³
wapń	od 2,8 g/dm ³ CaCl ₂
magnez	od 2,4 g/dm ³ MgCl ₂
jonamonowy	2,7 – 10 g/dm ³
amoniak	od 0,15 g/dm ³
siarka	od 50 mg/dm ³ H ₂ S, 100 mg/dm ³ S ²⁻ , 160 mg/dm ³ Na ₂ S (w przystosowanych kulturach do 600 mg/dm ³ Na ₂ S i 1000 mg/dm ³ H ₂ S)
metale ciężkie	<i>jako wolne jony:</i> od 10 mg/dm ³ Ni, od 40 mg/dm ³ Cu, od 130 mg/dm ³ Cr, od 340 mg/dm ³ Pb, od 400 mg/dm ³ Zn
	<i>w formie węglanowej:</i> od 160 mg/dm ³ Zn, od 170 mg/dm ³ Cu, od 180 mg/dm ³ Cd, od 530 mg/dm ³ Cr ³⁺ od 1750 mg/dm ³ Fe
rozgałęzione kwasy tłuszczowe	kwas izomasłowy: działa hamująco już od 50 mg/dm ³

Źródło: opracowanie własne na podstawie [24]

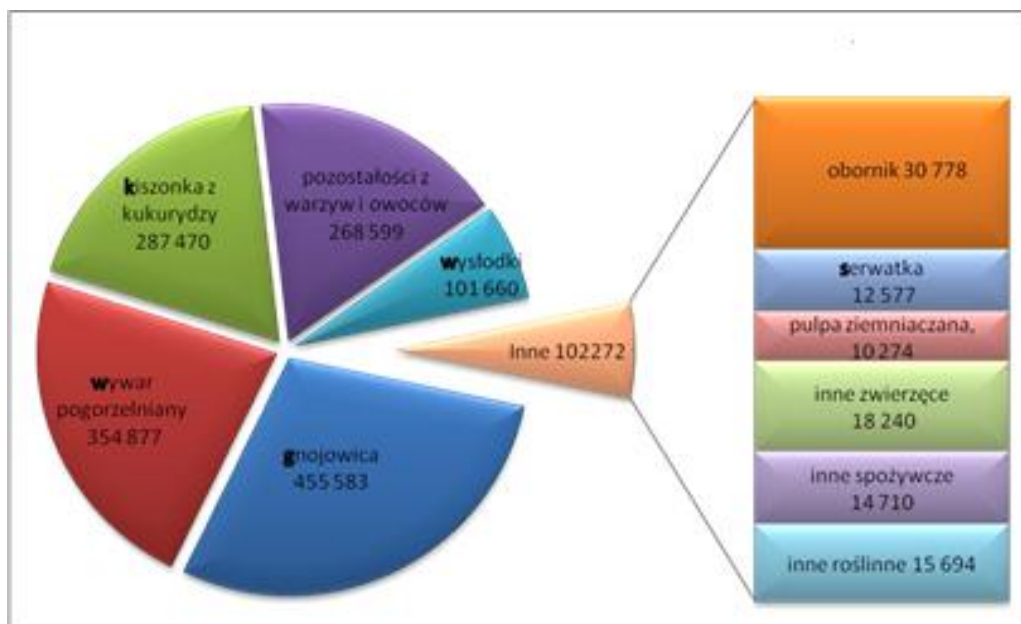
Przykładem inhibitora będącego pośrednim produktem przemian jest amoniak, który nawet w niewielkich stężeniach szkodliwie wpływa na bakterie metanowe. Równowaga pomiędzy jonami NH₄⁺ oraz gazowym amoniakiem NH₃ zależy od pH. W środowisku zasadowym wzrasta stężenie toksycznego amoniaku. Amoniak służy większości bakterii jako źródło azotu, jednak nawet w niewielkich stężeniach (od 0,15 g/dm³) działa inhibitorycznie na mikroorganizmy odpowiedzialne za proces fermentacji. Wzrost stężenia amoniaku w stosunku do stężenia jonów amonowych, może odgrywać szczególną rolę w termofilnych instalacjach biogazowych.

Siarka występuje w mieszaninie w formie jonowej jako HS⁻, S²⁻ (w fazie płynnej) lub w formie gazowego siarkowodoru H₂S. Na stan równowagi między tymi formami wpływa, podobnie jak w przypadku amoniaku i jonów amonowych, temperatura oraz pH.

3.3. Kofermentacja

W polskich biogazowniach najczęściej spotyka się rozwiązania wykorzystujące kofermentację odchodów zwierzęcych z roślinami energetycznymi, bądź z produktami ubocznymi pochodzenia rolniczego. Przeprowadzone doświadczenia eksploatacyjne dowodzą, iż uzupełnianie odchodów zwierzęcych substratami o większej zawartości suchej masy wpływa korzystnie na produkcję biogazu i jednocześnie poprawia efektywność ekonomiczną samego procesu. Wysoko rozwinięta technologia pozwala na przetwarzanie pojedynczych substratów w procesie tak zwanej monofermentacji, jednakże obecnie jest to technologia rzadko stosowana w instalacjach w skali przemysłowej [17].

Podstawowym substratem stosowanym w produkcji biogazu pochodzenia rolniczego jest gnojowica, czyli mieszanina kału, moczu zwierząt oraz wody. Posiada ona zróżnicowane właściwości zależne od gatunku zwierząt, czy sposobu ich karmienia. Gnojowica bydła i świń charakteryzuje się relatywnie niską zawartością suchej masy, co pozwala się dobrze łączyć z substratami np. roślinnymi w kofermentacji. Stały nawóz organiczny posiada wysoką zawartość suchej masy, w wyniku czego musi być rozcieńczany, aby umożliwić jego przepompowanie. Idealnie do tego nadają się kosubstraty o dużej zawartości wody, tj. wywary gorzelniane czy tłuszcze [24]. Substancje organiczne pochodzenia przemysłowego oraz rośliny energetyczne przejawiają większy potencjał produktywności biogazu niż odchody zwierzęce [17]. Udział poszczególnych substratów w krajowych biogazowniach ilustruje rysunek 3.4.



Rys.3.4. Udział substratów wykorzystanych w biogazowniach w Polsce w tonach w 2013 r. (opracowanie własne na podstawie [28])

Kiszonki surowców roślinnych stanowią znakomite uzupełnienie masy fermentacyjnej. Najszerze zastosowanie w tym przypadku ma kukurydza pod postacią kiszonki. Ponadto prowadzi się uprawy celowe takich roślin, jak m.in. ziemniaki, bób, żyto, burak pastewny, burak cukrowy, cebula, kalarepa, kapusta, kalafior, pszenica, owies, jęczmień, sorgo, rzepak, dynia, czy słonecznik. Rośliny te wykorzystywane są pod postacią całych roślin lub oddzielnie: liści, owoców, bulw, czy nawet nasion. Pod względem technologicznym najbardziej opłacalne jest utylizowanie kiszonek kukurydzy, trawy i słonecznika [27].

Właściwe skomponowanie mieszaniny fermentacyjnej wymaga wiedzy o potencjale biogazowym o każdym składowym komponencie oraz o interakcjach między nimi. Prawidłowe obciążenie komory fermentacyjnej ładunkiem materii wymaga obliczeń dla konkretnego zestawu surowcowego. Każda z mieszanin poddawana fermentacji powinna spełniać następujące warunki [21]:

- zawartość suchej masy w mieszaninie fermentacyjnej 12–15% w przypadku fermentacji „mokrej”, 16–40% dla fermentacji „suchej”;
- odczyn pH w zakresie 4,5–6,3 dla fazy hydrolizy i acidogenezy oraz 6,8–7,5 dla fazy metanogenezy;
- stabilna pojemność buforowa wsadu surowcowego;
- bilans składników pokarmowych C:N:P:S w proporcji 600:15:5:1;
- obecność cząstek adhezyjnych pozwalających tworzyć się skupiskom i koloniom bakterii;
- skład mieszaniny nie powinien generować i kumulować inhibitorów.

Głównym kryterium w ocenie przydatności kiszonki z kukurydzy przeznaczonej na biogaz jest udział suchej masy, na poziomie 28÷35%. Na jej zawartość mają wpływ takie czynniki, jak: właściwy czas zbioru kukurydzy. Przykładowo wczesna odmiana daje plon samej suchej masy równy 16,5 t/ha przy 50 t/ha świeżej masy, natomiast późna odmiana daje o 4% więcej plonu suchej masy, tj. 17,2 t/ha przy 62,5 t/ha świeżej masy [27].

4. Podsumowanie

W ciągu ostatniej dekady w Polsce dokonał się znaczący postęp w rozwoju energetyki odnawialnej, zarówno w przypadku technologii, jak i wzrostu udziału energii z OZE w bilansie energetycznym. W świetle przeprowadzonych szacunków potencjału produktywności biogazu z odpadów rolniczych Polska istotnie może ograniczyć uzależnienie od paliw kopalnych, ponieważ posiada ogromne, niewykorzystane zasoby odnawialne. Technologie biogazowe umożliwiają utylizację wielu uciążliwych odpadów (odpady poubojowe, odpady z

rolnictwa, odpady z gorzelnii, odpady owocowo – warzywne), pozwalając na produkcję wysokoenergetycznego biogazu oraz nawozów naturalnych z pulpy pofermentacyjnej.

Produkcja i wykorzystanie energii pochodzenia rolniczego jest rozwiązaniem proekologicznym i niesie ze sobą znaczne korzyści ekonomiczne, energetyczne oraz społeczne na szczeblu lokalnym, jak również krajowym. W aspekcie społecznym rozwój branży biogazowej to szansa na dodatkowe miejsca pracy na wsi, aktywizację terenów wiejskich, wzrost przychodów z tytułu podatków lokalnych, jak również zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej regionu. Produkcja biogazu pozwala zrealizować założenia klimatyczno- energetyczne, zmniejszyć emisję metanu i innych gazów cieplarnianych, oraz osiągnąć większą dywersyfikację źródeł energii. Wzrost wykorzystania OZE stwarza perspektywę dywersyfikacji źródeł dostaw i uniezależnienia się od dostaw energii z importu.

Literatura

1. Cenian A., Noch T. red. , *Ekoenergetyka– zagadnienia technologii, ochrony środowiska i ekonomiki*, Gdańska Wyższa Szkoła Administracji, Gdańsk 2010, ISBN 978-83-89762-27-6;
2. Berent- Kowalska G., Kacprowska J., Gogacz I., Jurgaś A., *Energia ze źródeł odnawialnych w 2012 roku*, w: Zakład Wydawnictw Statystycznych GUS, Warszawa 2013;
3. Gronowicz J., *Niekonwencjonalne źródła energii*, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom- Poznań 2010, ISBN: 978-83-7204-671-0;
4. Tytko R., *Odnawialne Źródła Energii*, wydanie V, Warszawa 2011;
5. Ecimovic T., Haw R., Kondrashin I., Weiler R., Vivanco F.G., et al., 2014, *Philosophy of the Sustainable Development and the Sustainable Future of Humankind – the Survival of Humanity*, in: *ProblemyEkorozwoju / Problems of Sustainable Development*, vol.9, no 2, 7-25
6. REZOLUCJA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO z 12 marca 2008 w sprawie zrównoważonego rolnictwa i biogazu (2009/C 66 E/05)
7. Swora M., red., *W kierunku nowoczesnej polityki energetycznej. Energia elektryczna*, w: Instytut Obywatelski, Warszawa 2011, s. 23-40;
8. MINISTERSTWO GOSPODARKI, *Polityka energetyczna Polski do 2030*, [online], w: MG,Warszawa2009, [dostęp14.07.15], <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost>.
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz2003/30/WE(Dz. Urz. UE L 140/16 z 5.6.2009);
10. Ustawa o odnawialnych źródłach energii” (Dz.U. 2015, poz. 478).
11. MINISTERSTWO GOSPODARKI, *KierunkirozwojubiogazownirolniczychwPolscewlatach2010-2020*, [online], w: MG,Warszawa2010[dostęp 14.07.15], <http://www.mg.gov.pl/node/11898>;
12. MINISTERSTWO GOSPODARKI, *Krajowyplan działania w zakresie energii zeźródełodnawialnych*, [online], w: MG,Warszawa2010[dostęp14.07.15], <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Energetyka/Odnawialne+zrodla+energii/Krajowy+plan+dzialan>;
13. Myczko A., *Dobór substratów do biogazowni*. [w]: Mater. Konf. Biogazownie rolnicze– mity i fakty, Fundacja na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa 2011, s. 37-44;
14. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2006 r. Nr 89, poz. 625 z późn. zm.);
15. AGENCJA RYNKU ROLNEGO, *Rejestr wytwórców biogazu rolniczego*, Stan na 30.03.2016 r. [online], [dostęp 5.04.2016], http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr_wytworcow_biogazu_rolniczego_30032016.
16. Biskupska K., Romaniuk W., *Biogazownia rolnicza krok po kroku*, Wydaw. Hortpress Sp. z o.o., Warszawa 2014, ISBN: 978-83-61574-58-3;
17. Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Mroczkowski P., Wiśniewski G., Zowski M., *Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych* [online], w: Instytut Energetyki Odnawialnej,

- Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 2011, [dostęp 14.07.15]: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/13229/poranik%20biogazowy.pdf>;
18. Ligus M., Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści, CeDeWu Sp. z o.o., Warszawa 2011, ISBN: 978-83-7556-172-2;
 19. BIO ALIANS, Substraty w biogazowniach rolniczych wg. danych Agencji Rozwoju Rolnictwa. [online], w: Bio Alians, Warszawa 2013, [dostęp 14.07.15], http://www.bioalians.pl/images/stories/BADI_Substraty%20w%20biogazowniach%20rolniczych.pdf;
 20. Szulc R., red., Biogazownie rolnicze- technologia i eksploatacja, Instytut Technologiczno Przyrodniczy, Falenty 2012 ISBN 978-83-62416-54-7;
 21. Myczko A. i in., Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych- Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni, Instytut Technologiczno Przyrodniczy, Warszawa- Poznań 2011, ISBN 978-83-62416-23-3;
 22. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 27);
 23. ASTECH, 2015, Biogazownie rolnicze, <http://www.astech.biz.pl/> [dostęp, 14.07.2005]
 24. Kaltschmitt M., Scholwin F., Gattermann H., Schattauer A., Weiland P., Biogaz – Produkcja wykorzystanie [online], w: Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig, 2005, [dostęp 14.07.15], http://www.ieo.pl/dokumenty/obszary_badan/Biogaz%20%20Produkcja%20Wykorzystywanie.pdf
 25. INSTYTUT AGROENERGETYKI, praca zbiorowa: Biogazownia w twojej gminie, praktyczny przewodnik dla pracowników jednostek samorządu terytorialnego, Instytut Agroenergetyki, Warszawa 2014;
 26. Romaniuk W., Zastosowanie instalacji biogazowych w gospodarstwach rodzinnych i farmerskich obróbka substratu pofermentacyjnego, Ekspert-SITR Spółka z o.o. Warszawa, 2012
 27. Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk- Popławska A., Wiśniewski G., Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie, [online], Mazowiecka Agencja Energetyczna, Sp. z o.o., Warszawa, 2009; [dostęp 14.07.15], http://www.mae.com.pl/files/poradnik_biogazowy_mae.pdf;
 28. Romaniuk W., Domasiewicz T. , Substraty dla biogazowni rolniczych, Hotpress, Sp. Zoo, Warszawa 2014;
-